



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.05.2011 Patentblatt 2011/21

(51) Int Cl.:
B25J 9/16 (2006.01) G05B 19/045 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10014346.0**

(22) Anmeldetag: **05.11.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder: **Finkemeyer, Bernd**
86150 Augsburg (DE)

(74) Vertreter: **Schlotter, Alexander Carolus Paul**
Wallinger Ricker Schlotter Foerstl
Patent- und Rechtsanwälte
Zweibrückenstrasse 5-7
80331 München (DE)

(30) Priorität: **23.11.2009 DE 102009054230**

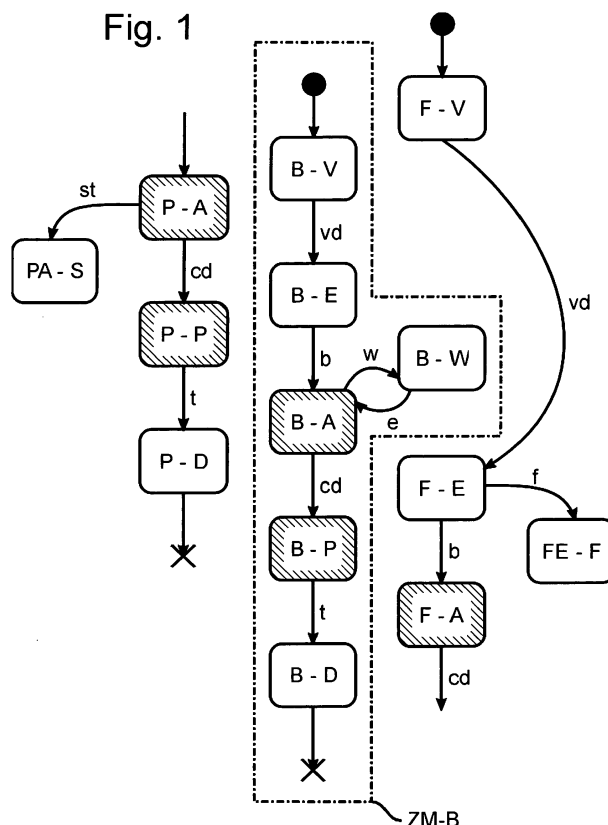
(71) Anmelder: **KUKA Laboratories GmbH**
86165 Augsburg (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Steuern von Manipulatoren**

(57) Nach einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Steuern wenigstens eines Manipulators, insbesondere Roboters, werden mehrere Kommandos (P, B, F) abgearbeitet, indem das jeweilige Kommando in einer Zustandsmaschine (ZM) einen aktiver Zustand (-A) durchläuft, wobei wenigstens ein Kommando in einer Zustandsmaschine einen seinem aktiven Zustand vorgelagerten Vorlaufzustand (-E) und/oder einen seinem aktiven Zustand nachgelagerten Nachlaufzustand (-P) durchläuft; und/oder zugleich mehrere Kommandos bearbeitet werden.

durchläuft, wobei wenigstens ein Kommando in einer Zustandsmaschine einen seinem aktiven Zustand vorgelagerten Vorlaufzustand (-E) und/oder einen seinem aktiven Zustand nachgelagerten Nachlaufzustand (-P) durchläuft; und/oder zugleich mehrere Kommandos bearbeitet werden.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern wenigstens eines Manipulators, insbesondere Roboters, wobei Kommandos in einer Zustandsmaschine einen aktiver Zustand durchlaufen.

[0002] Steuerungen für Manipulatoren, insbesondere für Roboter wie beispielsweise Industrieroboter, können als Zustandsmaschinen bzw. -automaten ("state machines") ausgebildet bzw. implementiert sein. Dabei wird das Verhalten der Steuerung, insbesondere durch sie gesteuerte Aktionen des bzw. der Manipulatoren, durch Zustände der Zustandsmaschine, Übergänge bzw. Transitionen zwischen diesen Zuständen und Aktionen in diesen Zuständen bestimmt. Beispielsweise ermöglicht die kommerzielle Software "Stateflow" die Erstellung und Simulation von Steuerungszustandsmaschinen im de-facto-Industriestandard MatLab-Simulink.

[0003] Klassische Steuerungszustandsmaschinen durchlaufen in determinierter Abfolge einzelne Zustände, in denen jeweils Kommandos ausgeführt werden. Dabei wird das Folgekommando erst angestoßen, wenn ein stationärer Genauhalt erreicht wurde, was beispielsweise ein Überschleifen zwischen positions- und kraftgeregelten Abschnitten erschwert.

[0004] Die bisherige Praxis birgt weitere Nachteile: so führt die Kommandoverknüpfung über stationäre Genauhalte zu Taktzeitverlusten. Auf der anderen Seite benötigen Filter, Beobachter und dergleichen regelmäßig einen gewissen Vorlauf, um sich einzuschwingen, i.e. brauchbare Ausgabewerte zu generieren. Darüber hinaus ist die Anbindung externer Prozesse oder die Modifikation der Steuerung aufgrund der, der starren Implementierung zugrundeliegenden, Determiniertheit schwierig.

[0005] Aus der EP 1 398 680 B1 ist eine endliche Zustandsmaschine bekannt, die in determinierter Folge mehrere Zustände durchläuft, um in einer Robotersteuerung glatte Sollbahnen vorzugeben.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Steuerung von Manipulatoren zu verbessern und insbesondere einen oder mehrere der oben erläuterten Nachteile wenigstens teilweise zu beseitigen.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Anspruch 9 stellt eine Vorrichtung, Anspruch 10 bzw. 11 ein Computerprogramm bzw. ein Computerprogrammprodukt, insbesondere einen Datenträger bzw. ein Speichermedium, zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1 unter Schutz. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

[0008] Erfindungsgemäß werden ein oder mehrere Manipulatoren, insbesondere (Industrie)Roboter, gesteuert, indem mehrere Kommandos jeweils in einer Zustandsmaschine einen aktiven Zustand durchlaufen. Zur kompakteren Darstellung wird vorliegend auch eine Regelung, i.e. die Bestimmung von Stellgrößen unter direk-

ter und/oder indirekter Rückführung von erfassten Ist-Größen, verallgemeinernd als Steuerung bezeichnet.

[0009] Ein Kommando kann dabei allgemein insbesondere eine oder mehrere Bewegungs- und/oder Aktionsanweisungen für einen oder mehrere Manipulatoren umfassen. Beispielsweise kann ein Kommando das Anfahren oder Halten einer Soll-Pose, das Abfahren einer Soll-Bahn, das Aufprägen einer Soll-Kraft und/oder eine Werkzeugaktion wie das Öffnen oder Schließen eines Greifers umfassen. Zur kompakteren Darstellung wird vorliegend auch ein antiparalleles Kräftepaar, i.e. ein Drehmoment, verallgemeinernd als Kraft bezeichnet. Ein Kommando kann auch eine oder mehrere Anweisungen für ein oder mehrere Prozessgeräte umfassen, etwa für eine Klebepistole oder Schweißzange, insbesondere wenn deren Steuerung in eine Manipulatorsteuerung integriert ist.

[0010] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung durchlaufen ein oder mehrere Kommandos einen ihrem aktiven Zustand vorgelagerten Vorlauf- und/oder ihrem aktiven Zustand nachgelagerten Nachlaufzustand.

[0011] Ein Vorlauf- bzw. Einschwingzustand eines Kommandos, in dem vorzugsweise zur Ausführung des Kommandos erforderlich Steuerungskomponenten bereits wenigstens teilweise in den Kontroll- und/oder Datenfluss der Steuerung eingebunden sind, insbesondere über entsprechende Schnittstellen insbesondere Daten von Sensoren empfangen, ermöglicht es vorteilhafterweise, dass Filter, Beobachter, Parameteridentifikationen und dergleichen durch die Daten mit der aktuellen, realen Situation vorab wenigstens teilweise synchronisiert werden, so dass die entsprechende Funktionalität zur Verfügung steht, wenn das Kommando in den aktiven Zustand übergeht, i.e. ausgeführt wird, wobei im aktiven Zustand Befehle an Aktuatoren, beispielsweise Manipulatorantriebe, Regler oder dergleichen ausgegeben werden, während im Vorlaufzustand vorzugsweise keine Befehle an Aktuatoren ausgegeben werden.

[0012] Somit können Steuerungskomponenten bzw. -funktionalitäten, die in seinem aktiven Zustand durch das Kommando kontrolliert werden, in dessen Vorlaufzustand bereits parallel zu anderen, aktiven Kommandos einschwingen bzw. synchronisiert werden.

[0013] Eine Steuerungskomponente kann dabei Hard- und/oder Softwarekomponenten, beispielsweise Recheneinrichtungen, Mikrocontroller, Speicher, Datenverbindungen, Ein-/Ausgabeeinrichtungen, Sensoren, Aktoren, insbesondere Antriebe, Programme, Programmmodule und dergleichen umfassen, um eine oder mehrere Steuerungsfunktionalitäten, beispielsweise die Erfassung und Umwandlung von Sensorwerten, Bestimmung von Parametern, Ermittlung und Ausgabe von Stell- bzw. Steuergrößen und dergleichen zu implementieren.

[0014] Ein Nachlauf- bzw. Pflegezustand eines Kommandos, in dem der bzw. die Manipulatoren nach Abarbeitung des Kommandos im aktiven Zustand vorzugs-

weise in vorgegebener Weise gesteuert werden, insbesondere ein Zustand des bzw. der Manipulatoren nach Abarbeiten des Kommandos gehalten wird, ermöglicht vorteilhafterweise eine geordnete Übergabe an ein anderes, aktives Kommando, da so auch nach Abarbeitung des Kommandos stets ein wohldefinierter Zustand aufrechterhalten wird.

[0015] Somit kann ein Nachlaufzustand dem ihm vorhergehenden aktiven Zustand entsprechen, insbesondere können auch im Nachlaufzustand Befehle an Aktuatoren ausgegeben werden. In einer bevorzugten Ausführung kann das Kommando dabei zwischen aktivem und Nachlaufzustand modifiziert, insbesondere umparametrisiert werden. So kann beispielsweise ein Kommando, welches eine Soll-Pose eines Manipulators umfasst, diese Soll-Pose in einem aktiven Zustand mit einer steifen, i.e. genauen Positionsregelung anfahren, und anschließend, zum Beispiel durch Reduzierung eines Integral-Anteils bzw. Verringerung von Regelkoeffizienten eines PID-Reglers, i.e. Umparametrisierung der Steuerungsfunktionalität, halten, bis ein anderes Kommando die Steuerung übernimmt.

[0016] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung, der bevorzugt zusammen mit dem ersten Aspekt verwirklicht ist, werden mehrere Kommandos zugleich, vorzugsweise im wesentlichen parallel und/oder unabhängig voneinander, bearbeitet. Insbesondere können ein oder mehrere Kommandos sich bereits in einem Vorlaufzustand befinden, um Filter, Beobachter, Parameteridentifikationen und dergleichen zu synchronisieren, während ein anderes Kommando noch aktiv ist. Dieses kann dann nach Abarbeitung in einen Nachlaufzustand übergehen und dort den bzw. die Manipulatoren in einem geordneten Zustand halten, bis ein anderes Kommando die Steuerung übernimmt. Gleichwohl können beide Aspekte auch unabhängig voneinander realisiert werden. So kann beispielsweise der Übergang eines Zustandsautomaten in einen Nachlaufzustand sicherstellen, dass stets ein wohldefinierter Zustand vorliegt, auch wenn beispielsweise zwischen zwei sensorbasierten Kommandos ein Programmstop oder Nothalt ausgelöst wird. Auf der anderen Seite können mehrere zugleich abgearbeitete Kommandos auch durch entsprechende Übergaben bzw. Übergänge zwischen den aktiven Zuständen synchronisiert werden. Vorzugsweise sind jedoch erster und zweiter Aspekt miteinander kombiniert.

[0017] Ein Grundgedanke der vorliegenden Erfindung liegt somit darin, dass Steuerungskommandos jeweils eine Kommandozustandsmaschine durchlaufen, wobei einem aktiven Zustand, in dem ein Kommando ausgeführt wird, ein Vor- bzw. Nachlaufzustand vor- bzw. nachgeschaltet ist, und mehrere Steuerungskommandos zugleich unterschiedliche Zustände durchlaufen können.

[0018] Gemäß einer bevorzugten Ausführung durchläuft ein Kommando in einer Zustandsmaschine einen seinem Vorlaufzustand nochmals vorgelagerten Vorverarbeitungszustand. Im Gegensatz zum Vorlaufzustand

findet hier vorzugsweise noch keine Einbindung in den Datenfluss statt, um Steuerungsfunktionalitäten wie Filter, Beobachter, Parameteridentifikationen und dergleichen zu aktualisieren. Vielmehr können in einem Vorverarbeitungszustand beispielsweise Ressourcen zur Abarbeitung des Kommandos bereitgestellt und Schnittstellen vorgegeben, insbesondere Interfaces ausgehandelt bzw. abgestimmt werden. Vorzugsweise werden in einem Vorverarbeitungszustand Steuerungsfunktionalitäten und/oder -komponenten, beispielsweise Interpolatoren, Kraftregelungen, Tracker und dergleichen, über das Kommando informiert und gegebenenfalls entsprechend parametrisiert. Beispielsweise kann in einem Vorverarbeitungszustand eines Kommandos zum positionsgeregelten Abfahren einer Sollbahn ein Interpolator informiert und ein Positionsregler eingestellt werden. Vorteilhafterweise kann ein solcher Vorverarbeitungszustand zeitunkritisch sein und somit vorzugsweise außerhalb eines Steuerungstaktes durchlaufen werden.

[0019] Zusätzlich oder alternativ kann ein Kommando in einer Zustandsmaschine einen seinem Nachlaufzustand nochmals nachgelagerten Erledigtzustand durchlaufen.

[0020] Ein Kommando kann die Kontrolle über Steuerungskomponenten bzw. -funktionalitäten übernehmen, sobald es in einen aktiven Zustand wechselt. Sobald alle von einem ersten Kommando in einem aktiven bzw. Nachlaufzustand kontrollierten Steuerungskomponenten bzw. -funktionalitäten von anderen Kommandos übernommen worden sind, beispielsweise Antriebsregler nun von einem anderen Kommando angesteuert werden, kann das erste Kommando in den Erledigtzustand übergehen. In diesem kann das erste Kommando innerhalb der Steuerung gelöscht oder zur erneuten Verwendung in einen Warte-, Vorverarbeitungs- oder Vorlaufzustand übergehen.

[0021] Zusätzlich oder alternativ zu den vorstehend erläuterten Zuständen Vorverarbeitungs-, Vorlauf-, aktiver, Nachlauf- und Erledigtzustand können in einer Zustandsmaschine für ein Kommando ein oder mehrere weitere Zustände vorgesehen sein.

[0022] Beispielsweise kann das Kommando durch einen Nothalt oder eine andere durch eine Sicherheitseinrichtung ausgelöste Aktion in einen Sicherheitszustand übergehen. In diesem kann beispielsweise ein bahntreues Anhalten oder das Verhalten einer Kraftregelung nach einem Nothalt kontrolliert werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Steuerungszustandsmaschinen ermöglichen solche kommandospezifischen Sicherheitszustände vorteilhaft spezifische Reaktionen. So kann beispielsweise die Steuerung unterschiedliche Aktionen durchführen, wenn in einem aktiven Zustand eines Kommandos, das positionsgesteuert eine geplante Bahn abfährt, ein Nothalt erfolgt, oder dieser in einem aktiven Zustand eines Kommandos erfolgt, das sensorgeführt eine Kraftregelung ausführt.

[0023] Zusätzlich oder alternativ können auch, wiederum vorzugsweise kommandospezifische, Fehler- und/

oder Wartezustände vorgesehen sein.

[0024] Wie vorstehend ausgeführt, kann ein Kommando in einem Zustand auf wenigstens eine Steuerungskomponente, insbesondere eine Sensor- und/oder Aktorfunktionalität, zugreifen, beispielsweise in einem Vorlaufzustand bereits auf Sensorfunktionalitäten, um Filter, Beobachter und dergleichen einschwingen zu lassen, in einem aktiven Zustand zusätzlich auf Aktorfunktionalitäten, um den bzw. die Manipulatoren zu steuern. Dabei ergibt sich vorteilhaft auch die Möglichkeit, mehrere von einem Kommando kontrollierte Steuerungskomponenten bzw. -funktionalitäten synchron, i.e. bei Übergang in den aktiven Zustand zu starten.

[0025] Einem Kommando können wie erläutert kommando- und/oder zustandsspezifische Steuerungsfunktionalitäten zugeordnet sein. Beispielsweise kann ein Interpolator oder Regler je nachdem, von welchem Kommando er kontrolliert wird, unterschiedliche Funktionalitäten verwirklichen und zum Beispiel für ein Kommando zum positionsgeregelten Bahnfahren andere Ausgabe-
werte erzeugen als für ein Kommando zur Kraftregelung.

[0026] Vorzugsweise signalisiert eine Steuerungskomponente bzw. -funktionalitäten einem Kommando Bereitschaft, von ihm übernommen, aktiviert und/oder beendet zu werden. Beispielsweise kann eine Komponente im Vorlaufzustand Bereitschaft signalisieren, dass sie einen stationären bzw. eingeschwungenen Zustand erreicht hat und somit bereit für den aktiven Zustand ist. Gleichmaßen kann die Komponente im Pflegezustand Bereitschaft signalisieren, von einem anderen Kommando übernommen zu werden.

[0027] Vorteilhafterweise können mittels einer erfindungsgemäßen Steuerung harte Echtzeitanforderungen einer Ablaufsteuerung von einer Bewegungssteuerung entkoppelt werden. Insbesondere kann die Zeit zwischen zwei Kommandos beliebig sein. Zudem ermöglicht es die erfindungsgemäße Steuerung vorteilhafterweise, offline vorab und somit zeitunkritisch, geplante Kommandos noch kurz vor ihrer tatsächlichen Ausführung an aktuelle Bedingungen anzupassen. Vorteilhafterweise ermöglicht eine erfindungsgemäße Steuerung insbesondere auch ein Überschleifen zwischen vorab geplanten und sensorgeführten Bahnen.

[0028] Insbesondere, wenn zugleich mehrere Kommandos bearbeitet werden, kann in einer bevorzugten Ausführung eine Reihenfolge vorgegeben werden, in der diese einen aktiven Zustand durchlaufen.

[0029] Diese kann beispielsweise dynamisch durch den Zeitpunkt bestimmt werden, zu dem die Kommandos jeweils einen bestimmten Zustand, insbesondere einen Vorlauf- oder Einschwingzustand, abgeschlossen haben. Vorteilhaft kann bei einer solchen FIFO-Reihenfolge ("First-In First-Out") eine Leerlaufzeit von Ressourcen reduziert werden, da stets ein Kommando einen aktiven Zustand durchläuft und dabei Ressourcen nutzt, sobald wenigstens ein Kommando hierzu bereit ist. Werden gleichzeitig mehrere Kommandos bereit, in den aktiven Zustand überzugehen, kann die Reihenfolge unter die-

sen durch ein vorgegebenes Auswahlkriterium, etwa die vorrangige Abarbeitung von ressourcenschonenden, mehr Ressourcen nutzenden oder höher priorisierten Kommandos vorgegeben werden.

[0030] Gleichmaßen kann die Reihenfolge dynamisch beispielsweise bei der Erstellung der Kommandos vorgegeben werden. Hierzu können Kommandos zum Beispiel Abhängigkeiten oder Relationen zu anderen Kommandos und/oder Bedingungen zugewiesen werden, so dass ein abhängiges Kommando erst dann einen aktiven Zustand durchläuft, wenn ein Kommando, von dem es gemäß einer vorgegebenen Relation abhängt, einen bestimmten Zustand, insbesondere einen aktiven oder Pflegezustand, durchlaufen hat, oder wenn eine bestimmte Bedingung, etwa das Vorhandensein eines Sensorsignals oder dergleichen, erfüllt ist.

[0031] Die Reihenfolge kann auch statisch bzw. teildynamisch vorgegeben werden, indem zum Beispiel den Kommandos bei der Programmierung Ordnungsnummern zugewiesen werden, in deren Reihenfolge sie den aktiven Zustand durchlaufen, unabhängig davon, ob ein anderes Kommando mit einer höheren Ordnungszahl bereits früher hierzu bereit wäre. Dies kann insofern teildynamisch geschehen, indem die vorgegeben Reihenfolge veränderbar ist, etwa, um neu hinzugefügte oder entfernte Kommandos zu berücksichtigen. Dies hat den Vorteil einer deterministischen Ausführungsreihenfolge, die unabhängig vom zeitlichen Durchlauf der Einzelzustände der verschiedenen Kommandos eingehalten wird.

[0032] Zusätzlich oder alternativ kann auch die Reihenfolge, in der eine oder mehrere Ressourcen miteinander konkurrierenden Kommandos zur Verfügung stehen, vorgegeben werden. So kann beispielsweise festgelegt werden, dass vorrangig stets ein aktives Kommando oder ein Kommando mit niedrigerer Ordnungszahl Zugriff auf die Ressource hat, und Kommandos mit höheren Ordnungszahlen oder in anderen Zuständen, beispielsweise einem Einschwingzustand, nur dann auf die Ressource zugreifen können, wenn diese gerade nicht von einem vorrangigen Kommando genutzt wird. Gleichmaßen ist auch hier beispielsweise eine FIFO-Abarbeitung möglich. Auf diese Weise können die Ressourcen, die einen Zugriff mehrerer konkurrierender Kommandos in der vorgegebenen Reihenfolge ermöglichen, optimal ausgenutzt werden, da nicht abgewartet werden muss, bis ein Kommando, das eine Ressource nutzt, komplett abgearbeitet ist. Insbesondere können parallele Programmtasks Kommandos, die dieselbe(n) Ressource(n) nutzen wollen, an eine Steuerung senden.

[0033] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen und den Ausführungsbeispielen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert, die einzige:

Fig. 1: ausschnittsweise eine Steuerung nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0034] Fig. 1 zeigt Zustände "-V" (Vorverarbeitungs-

zustand), "-E" (Einschwingzustand), "-A" (aktiver Zustand), "-P" (Pflegezustand) bzw. "-D" (Erledigtzustand "Done") von Kommandos "P", "B" bzw. "D". Dabei symbolisiert "P" ein Kommando zum positionsgeregelten Anfahren einer Soll-Pose eines Industrieroboters (nicht dargestellt), "F" ein Kommando zur Kraftregelung, in der der Roboter mit seinem Werkzeug eine vorgegebene Kraft aufbringt, und "B" ein Kommando zum Halten einer aktuellen Pose unter Kompensation von Gewicht-, Reibungs- und anderen Kräften mittels einer modellbasierten Regelung, deren Modell durch einen Beobachter adaptiert wird.

[0035] Jedes Kommando durchläuft eine Zustandsmaschine. In Fig. 1 ist hierzu exemplarisch die Zustandsmaschine ZM-B strichpunktiert angedeutet, die das Kommando B zum Halten einer aktuellen Pose mittels einer modellbasierten Regelung mit Beobachter durchläuft.

[0036] Ausgehend von dem in fachüblicher Weise durch einen ausgefüllten Kreis symbolisierten Startzustand durchläuft das Kommando B zunächst einen Vorverarbeitungszustand B-V, in dem das Kommando vorverarbeitet wird. In diesem Zustand werden Parameter ausgewertet und Ressourcen bereitgestellt. Beispielsweise werden die Steuerungsfunktionalitäten "Modell" und "Beobachter" über den anstehenden Auftrag informiert, ihre Parameter mit default-Werten belegt, und Interfaces zwischen ihnen ausgehandelt. Diese Vorverarbeitung ist zeitunkritisch und kann, wie Fig. 1 zeigt, in der vertikal von oben nach unten ein Zeitablauf gedacht werden kann, parallel oder überschneidend mit anderen Zuständen P-A, F-V erfolgen.

[0037] Ist die Vorverarbeitung abgeschlossen (Fig. 1: "vd"), geht das Kommando B in einen Vorlauf- oder Einschwingzustand B-E über. In diesem werden alle beteiligten Komponenten bereits in den Kontroll- und Datenfluss eingebunden und können über ihr Interface zyklisch Daten empfangen und versenden. Beispielsweise empfängt der Beobachter Gelenk-Ist-Positionen von Antriebssensoren und Antriebsstellgrößen von der Steuerung, schätzt hieraus Modellparameter ab und sendet diese an das Modell. Auf diese Weise schwingen Beobachter und Modell auf den realen Roboter ein. In diesem Zustand darf das Kommando B noch keine Steuerbefehle an Aktuatoren des Roboters senden.

[0038] Parallel dazu hat der Roboter positionsgeregelt eine Soll-Pose angefahren. Hierzu hat ein entsprechendes Kommando P einen aktiven Zustand P-A durchlaufen, in der die Pose angefahren wird, und ist anschließend in einen nachfolgend mit Bezug auf das Kommando B näher erläuterten Pflegezustand P-P übergegangen (Fig. 1: "t"), in dem die Pose positionsgeregelt gehalten wird, wobei in diesem Pflegezustand die Parameter des Positionsreglers an den Pflegezustand angepasst wurden, um den Regler "weich" zu stellen. In diesem Pflegezustand P-P signalisieren die vom Kommando P kontrollierten Steuerungskomponenten, beispielsweise Antriebsregler, dass sie zur Übernahme durch ein neues Kommando bereit sind.

[0039] Sobald auch alle Komponenten des Kommandos B Bereitschaft signalisiert haben, den Einschwingzustand zu beenden, beispielsweise Modell und Beobachter einen quasistationären bzw. eingeschwungenen Zustand erreicht haben, geht das Kommando B in den aktiven Zustand B-A über (Fig. 1: "b"). Dieser unterscheidet sich von dem vorhergehenden Einschwingzustand B-E nur dadurch, dass nun auch schreibend auf Hardwareressourcen zugegriffen, i.e. beispielsweise Steuerbefehle an Antriebe bzw. Antriebsregler gesendet werden dürfen.

[0040] Ist das Kommando B abgearbeitet (Fig. 1: "cd"), geht es in einen Pflegezustand B-P über. In diesem wird der erreichte Zustand des Roboters, beispielsweise seine Pose, gehalten. Wie vorstehend mit Bezug auf den Pflegezustand P-P des Positionsregelkommandos P erläutert, unterscheidet sich dieser bezüglich des Kontroll- und Datenflusses nicht von dem aktiven Zustand, jedoch kann die Parametrisierung an die Bedürfnisse des zu pflegenden Zustands angepasst sein, beispielsweise eine Vorsteuerverstärkung der modellbasierten Regelung reduziert werden.

[0041] Im Pflegezustand melden die beteiligten Steuerungskomponenten, beispielsweise die Antriebsregler, ihre Bereitschaft, nun von anderen Kommandos übernommen zu werden. Sobald das Kommando F zur Kraftregelung des Roboters, das, wie in Fig. 1 dargestellt, analog zum vorstehend erläuterten Kommando B einen Zustandsautomaten durchläuft, seinen Einschwingzustand F-E beendet hat, in den aktiven Zustand F-A übergegangen ist und dabei die Kontrolle über die verwendeten Hardwareressourcen, insbesondere die Antriebe des Roboters übernommen hat, ist die Ausführung des Kommandos B beenden, es geht in einen Erledigtzustand B-E über (Fig. 1: "t"), in dem es beispielsweise innerhalb der Steuerung gelöscht wird.

[0042] In Fig. 1 sind schraffiert die Zustände gekennzeichnet, die die Robotersteuerung nacheinander (in Fig. 1 von oben nach unten) durchläuft. Man erkennt ein problemloses Überschleifen zwischen dem Anfahren der vorgeplanten Pose durch das Kommando P-A und der sensorgeführten Kraftregelung durch das Kommando F-A. Zudem ist ersichtlich, dass die Kommandos P, B und F ihre Zustandsmaschine zugleich, teilweise parallel und unabhängig voneinander, durchlaufen. Man erkennt, dass in einfacher Weise weitere Kommandos implementiert werden können, indem eine entsprechende Zustandsmaschine implementiert wird. Insofern durchläuft erfindungsgemäß jedes Kommando eine eigene Zustandsmaschine (z.B. ZM-B), während gleichermaßen die Steuerung insgesamt eine (in Fig. 1 schraffiert angedeutete) Zustandsmaschine durchläuft.

[0043] Dabei ist die Reihenfolge vorgegeben, in der die Kommandos P, B und F den aktiven Zustand durchlaufen, indem diesen beispielsweise aufsteigende Ordnungszahlen oder Abhängigkeiten zu anderen Kommandos zugewiesen sind. Beispielsweise hat der Anwender im Ausführungsbeispiel durch die Vergabe der Ord-

nungsziffer "1" an das Kommando P und der Ordnungsziffer "2" an das Kommando B zum Halten einer aktuellen Pose mittels einer modellbasierten Regelung festgelegt, dass zunächst das Kommando P und erst anschließend das Kommando B den aktiven Zustand durchlaufen. Weiter hat er durch Vorgabe einer Abhängigkeit von B für das Kommando F vorgegeben, dass das Kommando F zur Kraftregelung erst dann seinen aktiven Zustand durchlaufen darf, wenn das Kommando B diese bereits durchlaufen hat und in seinen Pflegezustand B-P übergegangen ist. Man erkennt anhand der schraffiert angeordneten zeitlichen Abfolge, dass diese somit vorgegebene Reihenfolge $P \rightarrow B \rightarrow F$ auch dann erhalten bleibt, wenn das Kommando F seine Einschwingphase früher beendet hätte als das Kommando B.

[0044] Man erkennt auch, dass hier Ressourcen optimal genutzt werden können, indem konkurrierende Kommandos zugleich ausgeführt werden. Wenn beispielsweise sowohl das Kommando P als auch das Kommando B jeweils auf Positionssensoren zugreifen wollen, können diese entsprechend der-zum Beispiel durch die Ordnungszahlen - vorgegebenen Reihenfolge den Kommandos alternierend zur Verfügung stehen. Gleichmaßen ist es auch möglich, dass die Reihenfolge, in der Ressourcen verschiedenen konkurrierenden Kommandos zur Verfügung stehen, zum Beispiel durch deren Zustand bestimmt werden, etwa stets zunächst einem aktiven Kommando und nur dann, wenn dieses die Ressource nicht benötigt, einem Kommando im Einschwingzustand.

[0045] Rein exemplarisch sind in Fig. 1 weitere Kommandozustände skizziert, wobei zur besseren Übersichtlichkeit im Zustandsautomatenausschnitt der Fig. 1 nicht alle vorgesehenen Zustände bzw. Transitionen dargestellt sind.

[0046] Beispielsweise geht das aktive Kommando B bei einem Ereignis "w" in einen Wartezustand B-W über, aus dem es bei einem Ereignis "e" in den aktiven Zustand B-A zurückkehrt. Solche Ereignisse können beispielsweise Benutzereingaben, Sensorsignale, Programmablaufmarken oder dergleichen sein.

[0047] Für das positionsgeregelte Anfahren der Sollpose durch das aktive Kommando P ist ein für dieses Kommando spezifischer Nothaltzustand PA-S vorgesehen, in den die Steuerung bei einem Nothalt-Eingang "st" übergeht. Hier wird beispielsweise ein bahntreuer Stop ausgeführt. Erfolgt der Nothalt-Eingang "st" im Pflegezustand des Kommandos P oder dem aktiven oder Pflegezustand eines anderen Kommandos B, F, kann in andere Sicherheitszustände übergegangen, beispielsweise eine Soll-Kontaktkraft auf Null gestellt werden (nicht dargestellt).

[0048] Schließlich ist rein exemplarisch ein Fehlerzustand FE-F dargestellt, in den das Kommando F zur Kraftregelung übergeht, wenn in seinem Einschwingzustand F-E, in dem beispielsweise Filter für Kraftsensoren sich einschwingen, ein Fehler auftritt (Fig. 1: "f"). Hier können beispielsweise Kraftsensoren rekaliert und/oder Filter reinitialisiert werden.

Bezugszeichenliste

[0049]

- | | | |
|----|----|---|
| 5 | B | Kommando "Halte Pose mittels modellbasierter Regelung mit Beobachter" |
| | F | Kommando "Aufprägen einer Sollkraft mittels Kraftregelung" |
| 10 | P | Kommando "Fahre positionsgeregelt Soll-Pose an" |
| | -A | aktiver Zustand |
| 15 | -D | Erledigtzustand |
| | -E | Einschwingzustand |
| | -P | Pflegezustand |
| 20 | -V | Vorverarbeitungszustand |
| | -F | (kommandospezifischer) Fehlerzustand |
| 25 | -S | (kommandospezifischer) Sicherheitszustand |
| | -W | (kommandospezifischer) Wartezustand |

30 **Patentansprüche**

- | | | |
|----|----|---|
| 35 | 1. | Verfahren zum Steuern wenigstens eines Manipulators, insbesondere Roboters, bei dem mehrere Kommandos (P, B, F) abgearbeitet werden, indem das jeweilige Kommando in einer Zustandsmaschine (ZM) einen aktiven Zustand (-A) durchläuft, wobei wenigstens ein Kommando in einer Zustandsmaschine einen seinem aktiven Zustand vorgelagerten Vorlaufzustand (-E) und/oder einen seinem aktiven Zustand nachgelagerten Nachlaufzustand (-P) durchläuft; und/oder zugleich mehrere Kommandos bearbeitet werden. |
| 40 | 2. | Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Kommando in einer Zustandsmaschine einen seinem Vorlaufzustand vorgelagerten Vorverarbeitungszustand (-V) und/oder einen seinem Nachlaufzustand nachgelagerten Erledigtzustand (-D) durchläuft. |
| 45 | 3. | Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Zustandsmaschine für ein Kommando wenigstens ein weiterer kommandospezifischer Zustand, insbesondere ein Sicherheitszustand (-STOP), Fehlerzustand (-F) und/oder Wartezustand (-W) vorgesehen ist. |
| 50 | | |
| 55 | | |

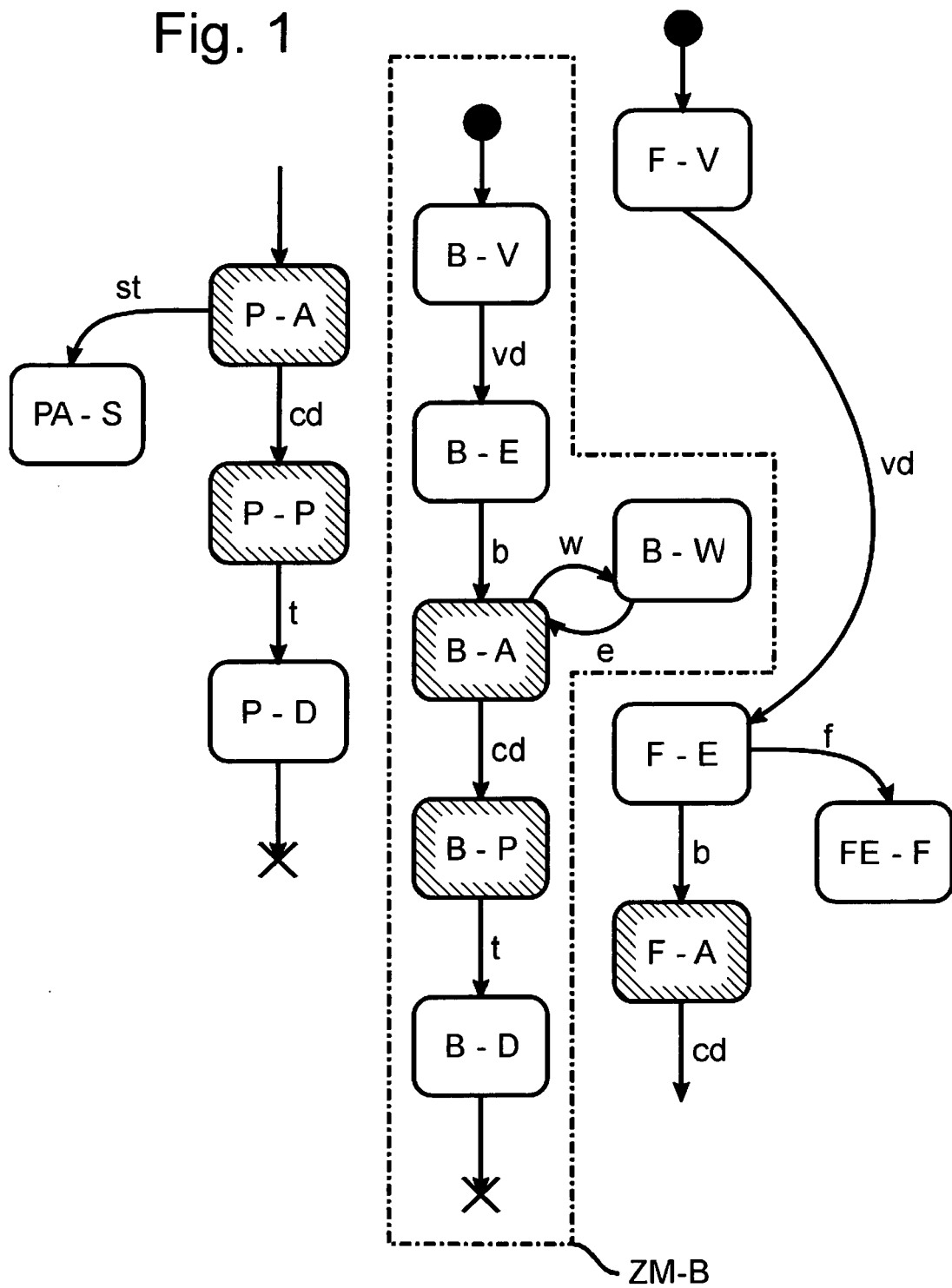
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Kommando in einem Zustand (E, A, P) mit wenigstens einer Steuerungskomponente, insbesondere einer Sensor- und/oder Aktorfunktionalität, kommuniziert. 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** einem Kommando eine kommando- und/oder zustandsspezifische Steuerungsfunktionalität zugeordnet ist. 10
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Zustand Parameter ausgewertet, Ressourcen bereitgestellt, Schnittstellen vorgegeben und/oder zyklische Daten empfangen und/oder gesendet werden. 15
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuerungskomponente, insbesondere eine Hardwarekomponente, einem Kommando Bereitschaft signalisiert. 20
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Reihenfolge, in der Kommandos einen aktiven Zustand durchlaufen, und/oder in der Kommandos auf dieselbe Ressource zugreifen, vorgegeben ist. 25
9. Steuervorrichtung zum Steuern wenigstens eines Manipulators, insbesondere Roboters, mit wenigstens einer Zustandsmaschine (ZM), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist. 30
35
10. Computerprogramm, das ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausführt, wenn es in einer Steuervorrichtung nach Anspruch 9 abläuft. 40
11. Computerprogrammprodukt mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist und ein Computerprogramm nach Anspruch 10 umfasst. 45

45

50

55

Fig. 1





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 10 01 4346

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2006 021300 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 15. November 2007 (2007-11-15) * Absatz [0001] - Absatz [0003] * * Absatz [0006] - Absatz [0013] * * Absatz [0020] - Absatz [0031] * -----	1-6,9	INV. B25J9/16 G05B19/045
Y	US 2006/033462 A1 (MORIDAIRA TOMOHISA [JP]) 16. Februar 2006 (2006-02-16) * Absatz [0003] * * Absatz [0019] - Absatz [0027] * * Absatz [0089] * * Absatz [0102] - Absatz [0103] * * Absatz [0144] - Absatz [0151] * -----	1,3,8,9	
Y	DE 103 60 200 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 21. Juli 2005 (2005-07-21) * Absatz [0001] * * Absatz [0005] - Absatz [0006] * * Absatz [0015] - Absatz [0029] * * Ansprüche 2,3 * * Abbildungen 1,2 * -----	1,3,8,9	
Y	DE 100 40 467 A1 (SIEMENS AG [DE]) 28. Februar 2002 (2002-02-28) * Absätze [0064] - [0066] * * Absätze [0093] - [0101] * * Abbildung 13 * -----	1,9	B25J G05B G06F
A,D	EP 1 398 680 A2 (SIEMENS ENERGY & AUTOMAT [US]) 17. März 2004 (2004-03-17) * Absatz [0130] - Absatz [0143] * -----	1-11	
A	EP 1 731 273 A2 (FANUC LTD [JP]) 13. Dezember 2006 (2006-12-13) * das ganze Dokument * -----	1-11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 3. Februar 2011	Prüfer Hristov, Stefan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 01 4346

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-02-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102006021300 A1	15-11-2007	EP 2018604 A1	28-01-2009
		WO 2007128631 A1	15-11-2007
		US 2009319056 A1	24-12-2009
US 2006033462 A1	16-02-2006	CN 1733434 A	15-02-2006
		JP 4305323 B2	29-07-2009
		JP 2006051564 A	23-02-2006
DE 10360200 A1	21-07-2005	KEINE	
DE 10040467 A1	28-02-2002	KEINE	
EP 1398680 A2	17-03-2004	EP 1398681 A2	17-03-2004
		EP 1398682 A2	17-03-2004
EP 1731273 A2	13-12-2006	CN 1876334 A	13-12-2006
		JP 4210270 B2	14-01-2009
		JP 2006343828 A	21-12-2006
		US 2006276934 A1	07-12-2006

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1398680 B1 [0005]